

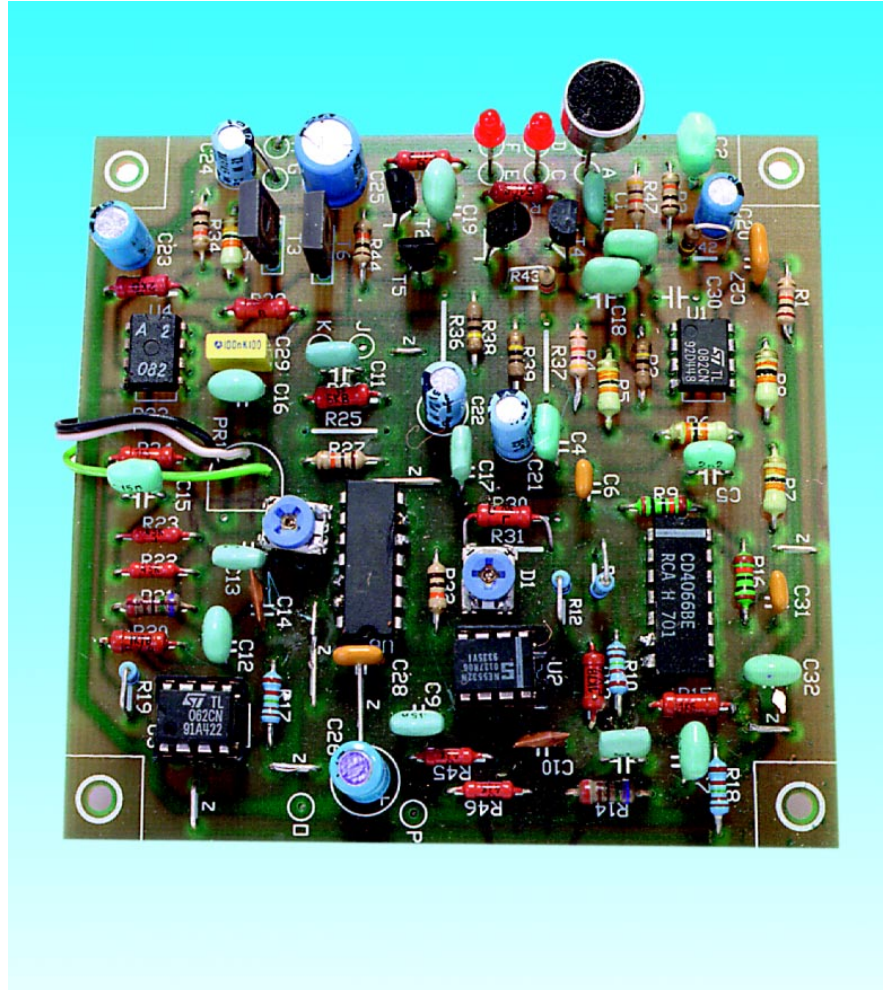


Transofon - układ do zmiany wysokości dźwięku

W jednym z poprzednich numerów EdW w rubryce "Nowości, ciekawostki" wspomniano o urządzeniu do zmiany wysokości głosu, zwanym z angielska *disguiserem*. Do redakcji napłynęło mnóstwo listów z prośbą o zaprezentowanie takiego układu.

Jak wynika z tych listów, wielu Czytelników chciałoby wykorzystać taki układ do eksperymentów i dla rozrywki, zwłaszcza do robienia niespodzianek znajomym.

Spośród nadesłanych propozycji bardziej swojskiej nazwy, najbardziej sensowna wydaje się nazwa *transofon*, zaproponowana przez Adama Sawickiego z Częstochowy, który za tę propozycję otrzymuje nagrodę w postaci książki.



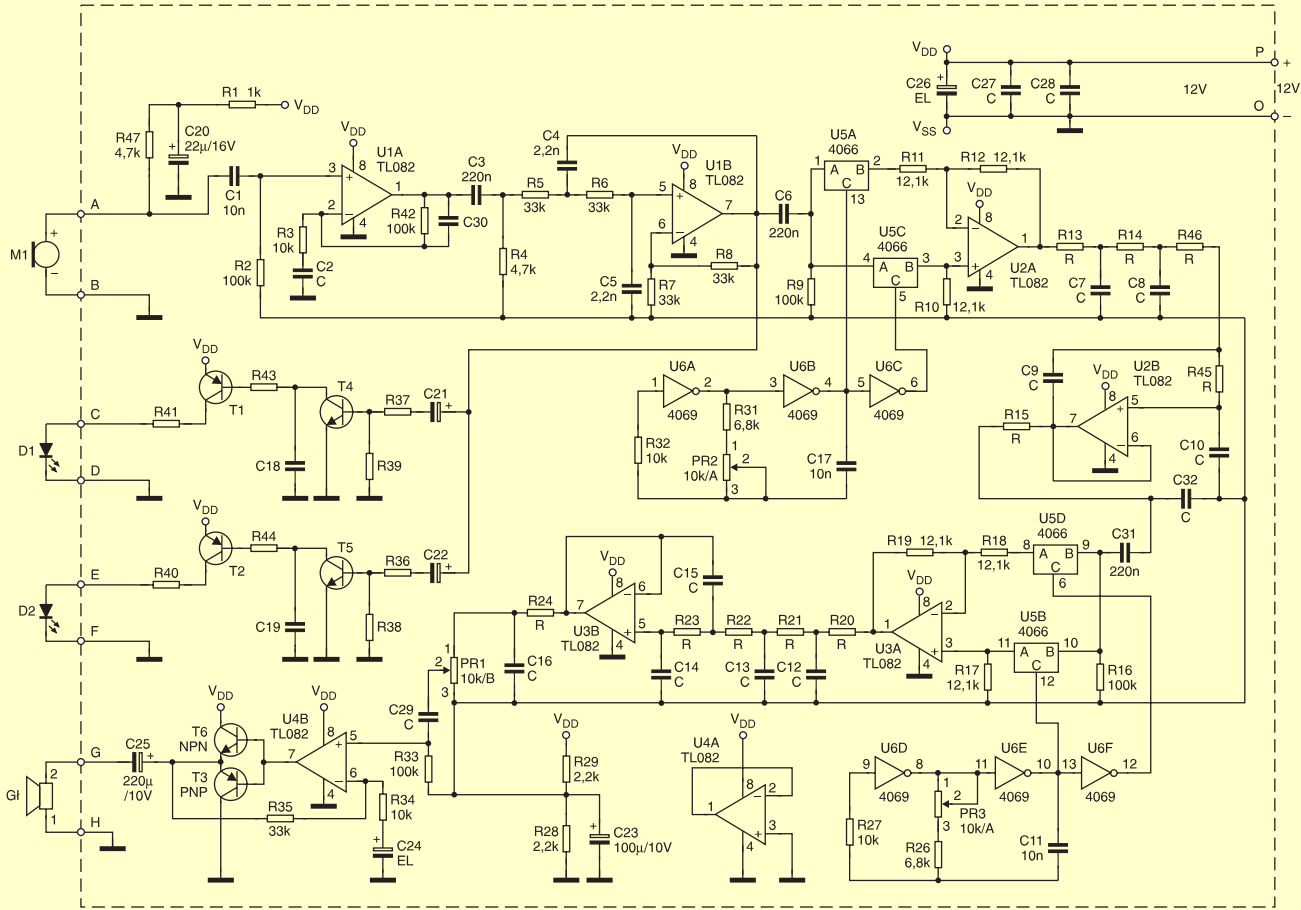
C
M
Y
K

Układ zmienia wysokość głosu i pozwala uzyskać efekt "głosu robota". Pozwala przeprowadzić szereg eksperymentów akustycznych. Dodatkowo może być wykorzystywany jako skrambler - do utajniania rozmowy przez odwołanie pasma częstotliwości.

W tym numerze *Elektroniki dla Wszystkich* znajduje się artykuł "Zabawy z dźwiękiem", przedstawiający kilka zagadnień związanych ze zmianą wysokości dźwięku. Opisany transofon zrealizowany jest przy pomocy omówionej tam metody filtrowej. Wybrano tę metodę, ponieważ jest względnie prosta, a urządzenie można zrealizować niewielkim nakładem kosztów. Oczywiście, z uproszczeniem konstrukcji wiąże się kilka wad, między innymi niezbyt szerokie pasmo przenoszenia oraz spory udział zniekształceń liniowych, nieliniowych, a także zauważalna obecność zakłóceń.

Te właściwości dodatkowo zniekształcają głos, co zresztą dla większości użytkowników tego urządzenia nie będzie wcale wadą, ale dodatkową zaletą.

W każdym razie prezentowane urządzenie doskonale nadaje się do "utajniania" swojego głosu i przeprowadzania eksperymentów, nie jest natomiast przeznaczone do systemów antywzbudzeniowych, wspomnianych w artykule "Zabawy z dźwiękiem". Do takich bardziej wymagających zastosowań autor opracował precyzyjny układ przesuwania częstotliwości o pasmie przenoszenia od 80Hz...12kHz. Ten układ jest trudniejszy



Rys. 1. Schemat ideowy transfornu.

do wykonania i strojenia, ponieważ wymaga zastosowania rezystorów i kondensatorów o tolerancji 1%. Na życzenie Czytelników może on być przedstawiony w jednym z najbliższych numerów EdW lub EP.

Natomiast w tym artykule opisany jest prosty układ zrealizowany według metody filtrowej - schemat blokowy urządzenia jest taki sam, jak na rysunku 5 na stronie w artykule "zabawy z dźwiękiem". Przy analizie działania układu warto skorzystać z tego rysunku.

Szczegółowy schemat ideowy transfornu jest przedstawiony na **rysunku 1**.

Do wykonania urządzenia nie jest konieczne dokładne zrozumienie jego działania. Układ bezbłędnie zmontowany ze sprawnych elementów praktycznie nie wymaga uruchomienia, a jedyną regulacją dwóch potencjometrów z powodzeniem można wykonać bez przyrządów, metodą na słuch.

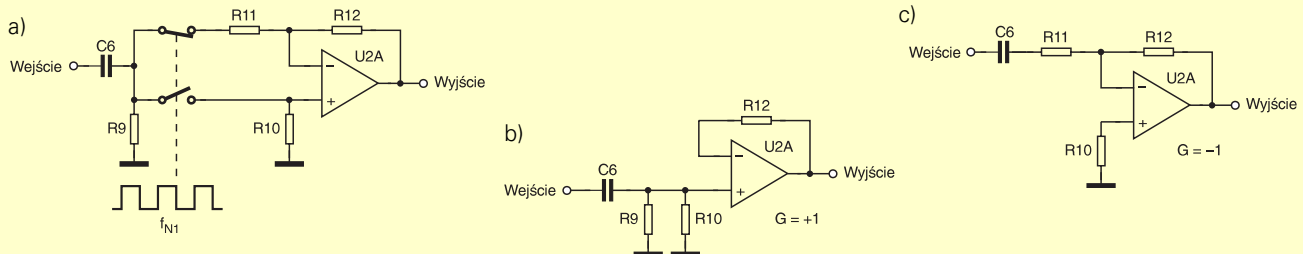
Opis układu

Urządzenie zasilane jest z dowolnego zasilacza stabilizowanego 12V. Dla właściwej pracy wzmacniaczy operacyjnych wprowadzono obwód sztucznej masy. Potencjał tej sztucznej masy jest równy połowie napięcia zasilającego. W obwo-

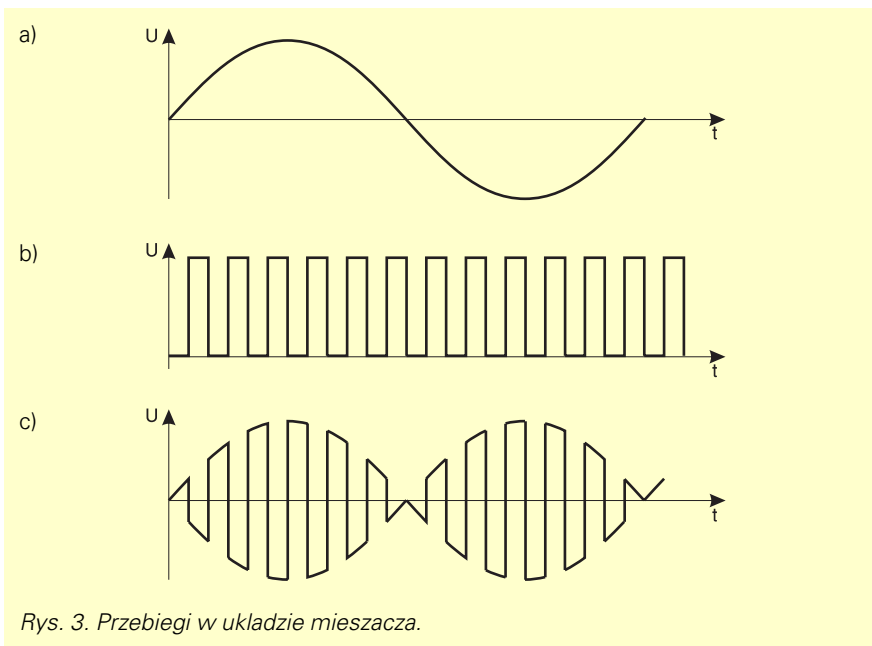
dzie wytwarzania sztucznej masy pracują rezystory R28, R29 i C23.

Sygnal z mikrofonu elektretowego jest wzmacniany 11-krotnie przez układ nie symetryczny, następnie podawany na antyaliasingowy filtr dolnoprzepustowy z kostką U1B. Filtr ten dodatkowo wzmacnia użyteczne sygnały dwukrotnie. Taka wartość wzmocnienia całkowicie wystarcza do współpracy z mikrofonem elektretowym. W razie konieczności zmiany wzmocnienia, należy zmieniać wartość R42 w zakresie 10kw...470kw.

Górna częstotliwość graniczna filtra antyaliasingowego wynosi około 3,5kHz. W sumie pasmo przenoszenia całego



Rys. 2. Zasada działania mieszacza z kluczami analogowymi.



Rys. 3. Przebiegi w układzie mieszacza.

opisywanego układu jest zbliżone do pasma "telefonicznego", czyli obejmuje częstotliwości od około 300Hz do około 3400Hz.

Z wyjścia filtra antyaliasingowego sygnał jest podawany ma pierwszy mieszacz. Mieszacz ten zbudowany jest przy użyciu kluczy analogowych U5A i U5C oraz wzmacniacza operacyjnego U2A. Na "drugie wejście" mieszacza podawany jest sygnał prostokątny o częstotliwości około 3,7kHz z generatora z bramkami U6A, U6B i U6C.

Działanie takiego nietypowego mieszacza zrównoważonego można prześledzić na **rysunku 2**. Gdy stan wysoki podany jest na nóżkę 5 kostki U5, wtedy klucz analogowy U5C przewodzi, a U5A nie przewodzi. Odpowiada to sytuacji z **rysunku 2b**. Wzmacniacz z kostką U2A ma wtedy wzmacnienie równe +1 (nie odwraca fazy przetwarzanego przebiegu). Gdy zmieni się stan generatora

U6A...U6C, przewodzi klucz U5A, a U5C jest wyłączony (rozwartry). Odpowiada to sytuacji z **rysunku 2c**. Układ ma wzmacnienie równe -1, czyli odwraca fazę przebiegu wyjściowego. W sumie gdy mikrofon odbiera sygnał o częstotliwości mniejszej, niż 1kHz (patrz **rysunek 3a**), a częstotliwość generatora f_{N1} wynosi około 4kHz (**rys. 3b**), przebieg na wyjściu mieszacza wygląda jak na **rysunku 3c**. Taki posiekany sygnał ma widmo podobne do pokazanego na **rysunku 6c** na stronie 65. Ponieważ generator G1 wytwarza sygnał prostokątny, na wyjściu mieszacza oprócz dwóch wstęg bocznych, występują także liczne przebiegi o wyższych częstotliwościach, powstające wskutek mnożenia sygnału mowy i wyższych częstotliwości harmonicznych generatora. Nie ma to żadnego znaczenia dla działania układu, ponieważ włączone dalej filtry skutecznie usuwają te składowe. Jednak podstawowym zadaniem

wielogniwowego filtra z kostką U2B jest stłumienie górnej wstęgi bocznej, leżącej tuż powyżej częstotliwości nośnej f_{N1} (porównaj rys 6c, d na str 65). Charakterystyka tego filtra jest pokazana na **rysunku 4**.

Na wyjściu tego filtra, czyli na kondensatorze C32 uzyskuje się sygnał niejako odwrócony w dziedzinie częstotliwości. Niskie składowe dźwięku odebranego przez mikrofon są teraz częstotliwościami wysokimi (około 3kHz), a składowe wysokie mają małą częstotliwość.

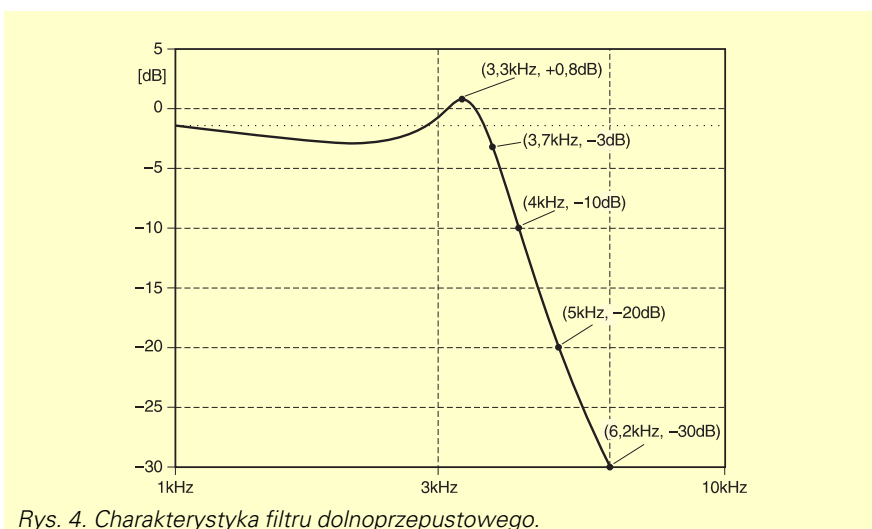
W tym punkcie można pobrać sygnał, jeśli urządzenie miało służyć w charakterze kodera-skramblera, na przykład do utajnienia rozmów telefonicznych, czy przez CB.

W praktyce wystarczy zatrzymać jeden z generatorów (np. przez zwarcie do masy albo plusa zasilania nóżki 1 lub nóżki 9 kostki U6), a w głośniku pojawi się taki "odwrócony" sygnał. Warto dla ciekawości sprawdzić, jak brzmi głos ludzki po odwróceniu widma w dziedzinie częstotliwości.

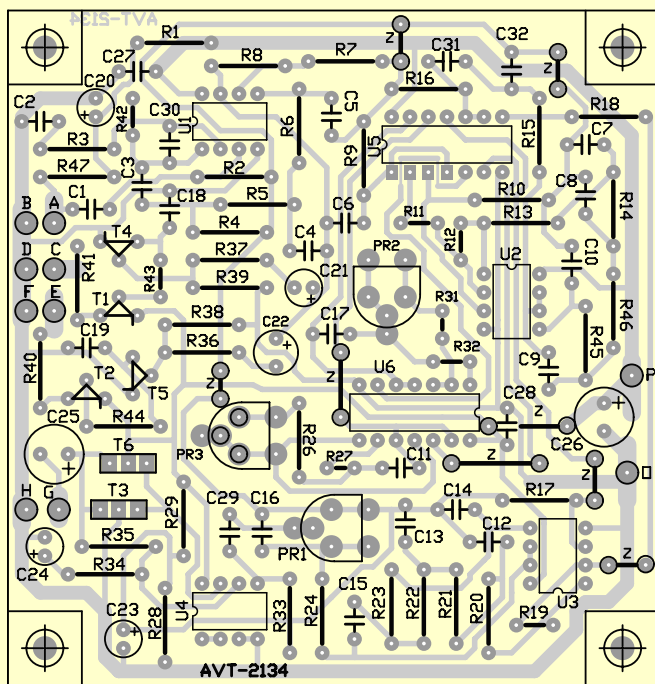
Natomiast podczas normalnej pracy w charakterze transfonu, odwrócony sygnał z wyjścia kostki U2B podawany jest na drugi modulator zrównoważony i drugi filtr. Schemat tego modulatora i filtra z kostką U3 jest identyczny, jak układu opisanego przed chwilą. Ten drugi modulator z filtrem ma zadanie powrotnie odwrócić widmo sygnału.

Przy jednakowych częstotliwościach obu generatorów taktujących, w głośniku powinien pojawić się dźwięk taki sam, jak dźwięk odebrany przez mikrofon. Jeśli jednak częstotliwość taktowania (nośna) wytwarzana przez generator z bramkami U6D, E, F będzie inna niż częstotliwość generatora z bramkami U6A, B, C - pasmo przetwarzanych częstotliwości, czyli wysokość głosu będzie przesunięta o częstotliwość równą różnicy częstotliwości tych generatorów. Głos w głośniku może być wyższy lub niższy od naturalnego - zależnie od częstotliwości obu generatorów. W praktyce częstotliwość pierwszego generatora powinna być ustawiona na stałe potencjometrem montażowym PR2. Częstotliwość ta powinna wynosić 3,7...4kHz. Natomiast potencjometr PR3 będzie służył do płynnego zmieniania częstotliwości głosu.

Przetworzony sygnał podawany jest na potencjometr płynnej regulacji wzmacnienia (głośności) - PR1 i dalej na prosty wzmacniacz z kostką U4B i tranzystorami T3, T6. Do wyjścia (punkty G, H) może być dołączony głośnik o oporności 4...25W. Sygnał z wyjścia można też podać na wejście AUX domowego zestawu audio i do odsłuchu wykorzystać zestawy głośnikowe (dołączanie należy przeprowadzić przy wyłączonym zasilaniu).



Rys. 4. Charakterystyka filtra dolnoprzepustowego.



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

laniu wzmacniacza i transfonu. Autor na podstawie przeprowadzonych prób zaleca dołączenie do wyjścia (punkty G, H) zestawów głośnikowych, a nie małych, nieobudowanych głośników - efekt jest wtedy zdecydowanie lepszy.

Na schemacie i na przygotowanej płytce występują jeszcze układy wskaźnika wysterowania z tranzystorami T1, T2, T4, T5. Próby wykazały, że wskaźnik wysterowania nie jest potrzebny i obwody te nie będą wykorzystane.

Do zasilania transfonu można wykorzystać jakikolwiek zasilacz stabilizowany o napięciu wyjściowym 12V o prądzie wyjściowym przynajmniej 250mA. Przy zastosowaniu głośnika 4 lub 8-omowego należy sprawdzić, czy przy maksymalnej głośności zasilacz utrzymuje przepisane napięcie 12V.

Możliwości zmian (dla zaawansowanych)

Jak wynika z zasady pracy modulatora zrównoważonego, sygnał na jego wyjściu nie zawiera żadnego z sygnałów wejściowych, a tylko produkty ich mieszania (mnożenia). W rzeczywistości układy obu modulatorów z rysunku 1 nie są idealnie zrównoważone. Dla osiągnięcia możliwie dobrych wyników, zastosowano tam rezystory o tolerancji 1%. Ale w układzie występuje jeszcze kilka innych czynników, które psują to zrównoważenie (na przykład napięcie niezrównoważenia - offset - wzmacniaczy operacyjnych). W efekcie na wyjściu każdego mieszacza występuje niewielki, ale zauważalny przesłuch częstotliwości noś-

nej. Po podwójnej przemianie, w głośniku oprócz przesuniętego sygnału mowy pojawią się dwa ciche pojedyncze tony. Jeden z nich to przesłuch z drugiego generatora taktującego, przechodzący przez drugi mieszacz. Drugi, niski ton, ma częstotliwość równą różnicy częstotliwości obu generatorów taktujących.

W zasadzie wspomniane dwa tony mogłyby zostać zupełnie usunięte, ale wymagałoby to rozbudowania układów modulatorów o elementy korekcji. Skomplikowałoby to znacznie procedurę strojenia układu. Ponieważ urządzenia przeznaczone jest głównie do zabawy i będzie wykonywane także przez niedoświadczonych amatorów, autor zrezygnował z takiej korekcji.

Dwa ciche dodatkowe tony praktycznie nie przeszkadzają.

Bardziej zaawansowany elektronik, który chciałby zmniejszyć wspomniany przesłuch, może spróbować wymieniać egzemplarze układów U2 i U3. Może też wprowadzić obwód kompensacji napięcia niezrównoważenia z potencjometrem montażowym włączonym między masę a plus zasilania, i rezystorem o oporności około 1M Ω włączonym między suwak a wejście nieodwracające kostki modulatora.

W sumie jednak głównym źródłem niezrównoważenia są szkodliwe pojemności (montażowe i pojemności wejść kostek), które powodują, że zbrocza sygnału na wyjściu modulatora nie są tak ostre, jak pokazuje rysunek 3c.

Można spróbować to jeszcze poprawić zmniejszając rezystancje R10, R11,

R12, R17, R18 i R19. Trzeba będzie przy tym zwiększyć pojemności C6 i C31. Przy zmniejszaniu wspomnianych rezystancji trzeba jednak uwzględnić wpływ rezystancji kluczy analogowych z kostki U5. Rezystancja ta może wynosić 50...150 Ω .

Podane eksperymenty można zalecić tylko doświadczonym elektronikom, którzy dobrze rozumieją działanie przedstawionego modulatora.

Montaż i uruchomienie

Układ transfonu można zmontować na płytce pokazanej na rysunku 5. Pomocą w montażu będzie też przedstawiona fotografia. Układ modelowy różni się nieznacznie od płytki z rysunku 5, ponieważ po próbach zmodyfikowano nieco obwody generatorów i wprowadzono potencjometry montażowe PR2 i PR3.

Montaż płytki należy zacząć od wlutowania zwró oznaczonych Z.

Pod układy scalone przewidziano podstawki (choć autor jest zdecydowanym przeciwnikiem stosowania tanich podstawek). Podstawki umożliwią zamianę miejscami wzmacniaczy operacyjnych TL082, co może mieć wpływ na zawartość w sygnale wyjściowym wspomnianych dwóch niepożądanych tonów.

Elementy można lutować w dowolnej kolejności, a układy scalone trzeba włożyć w podstawki na samym końcu.

W modelu mikrofon wlutowano w płytkę, wykorzystując odcięte końcówki wlutowanych wcześniej rezystorów. Mikrofon może być dołączony kilkunastocentymetrowym odcinkiem dwuzłotowego przewodu.

Uwaga! Dwukońcówkowy mikrofon elektretowy ma ujemną końcówkę połączoną z metalowym kapturkiem obudowy.

Zmontowany układ należy dokładnie sprawdzić. Najszybszymi błędami jest wlutowanie odwrotnie kondensatorów elektrolitycznych (końcówka dodatnia jest dłuższa), niewłaściwe wlutowanie rezystorów wynikające z błędnego odczytania kodu paskowego, oraz odwrotne wlutowanie (włożenie) układów scalonych. Na płytce zaznaczono wycięcieklucz, wskazujące położenie układu scalonego. Wyczerpujące informacje na temat rezystorów i kodu paskowego można znaleźć w EdW 2/96 na stronach 56, 57, a informacje o oznaczeniu kondensatorów - w EdW 5/96 na stronach 54 i 55.

Do zmontowanego i dokładnie sprawdzonego układu można podłączyć głośnik i zasilacz. Przy dołączaniu napięcia zasilającego należy zwracać uwagę na biegunowość - przy odwrotnym połączeniu układ może zostać nieodwracalnie uszkodzony.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1: 1kW
 R2, R9, R16, R33, R42: 100kW
 R3, R27, R32, R34: 10kW
 R4, R47: 4,7kW
 R5...R8, R35: 33kW
 R10...R12, R17...R19: 12,1kW 1%
 (8,86...15,4kW 1%)
 R13, R20: 1,8kW
 R14, R21: 7,5kW
 R15, R24: 1,5kW
 R22, R23, R45, R46: 43kW
 R26, R31: 6,8kW
 R28, R29: 2,2kW
 R36...R41, R43, R44: nie montować *
 PR1: 10kW B potencjometr obrotowy
 PR3, PR2: 10kW A potencjometr montażowy

Kondensatory

C1, C11, C17: 10nF foliowy MKT lub MKSE
 C2, C3, C6, C31: 220nF
 C4, C5: 2,2nF foliowy MKT lub MKSE
 C7, C12, C16, C32: 47nF foliowy MKT lub MKSE
 C8, C13: 3,3nF foliowy MKT lub MKSE

C9, C15: 15nF foliowy MKT lub MKSE
 C10, C14: 68pF ceramiczny
 C18, C19, C21, C22, C30: nie montować *
 C20, C24: 22μF/16V
 C23, C26: 100μF/10V
 C25: 220μF/10V
 C27...C29: 100nF ceramiczny

Półprzewodniki

T3: BD136...BD140
 T6: BD135...BD139
 U1...U4: TL082
 U5: CMOS 4066
 U6: CMOS 4069
 D1, D2, T1, T2, T4, T5: nie montować *

Różne

SP1: głośnik 4...25w *
 M1: mikrofon elektretowy dwukońcówkowy
 podstawki pod układy scalone
 pokrętło potencjometru PR1

* Uwaga! Głośnik SP1 oraz elementy R36...R41, R43, R44, C18, C19, C21, C22, C30, D2, D1, T1, T2, T4, T5 nie wchodzi w skład zestawu AVT-2134.

Dobrze jest sprawdzić pobór prądu w spoczynku - prąd ten nie powinien być większy, niż 40mA. Po pojawieniu się sygnału w głośniku prąd będzie wzrastał, zależnie od oporności użytego głośnika.

Już przy pierwszym włączeniu, przy mówieniu do mikrofonu z odległości około 5...15cm, z głośnika powinien zabrzmieć przetworzony dźwięk.

Układ zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga uruchomienia, wystarczy tylko ustawić częstotliwości generatorów.

Posiadacze częstotłociomierza (lub multimetru z częstościomierzem) ustawią teraz za pomocą PR2 częstotliwość pierwszego generatora w granicach 3,7...4kHz. Częstotliwość drugiego generatora można ustawić za pomocą PR3 według upodobania, uzyskując odpowiednie przesunięcie częstotliwości.

Osoby nie posiadające częstościomierza dobiorą ustawienie potencjometru PR2 metodą na słuch. Trzeba po prostu znaleźć takie jego ustawienie, w którym efekt z głośnika będzie najlepszy. Nie ma co się bać - nic się nie zepsuje, co najwyżej dźwięk będzie dodatkowo zniekształcony.

Płytkę można umocować w dowolnej obudowie, na przykład KM60.

Odszukiwanie błędów

Nie da się przewidzieć wszystkich możliwych błędów i pomyłek. Na przykład autor przy uruchomianiu modelu trafił na uszkodzony mikrofon, który wprawdzie pracował, ale dawał bardzo mały sygnał. W przypadku jakichkolwiek trudności z uruchomieniem urządzenia należy przede wszystkim sprawdzić, czy na rezystorze R28 rzeczywiście występuje połowa napięcia zasilającego ($\pm 1V$). Jeśli nie, należy kolejno wyjmować kostki z podstawek i sprawdzić, czy błąd ten jest związany z którąś z nich. Jeśli nie, pozostaje żmudne wylutowywanie kolejnych elementów dołączonych do obwodu sztucznej masy.

Jeśli napięcie sztucznej masy jest dobre, należy sprawdzić działanie kolejnych bloków. Można to zrobić wstępnie za pomocą woltomierza - napięcia na wyjściach wszystkich kostek (z wyjątkiem U4A) powinny być zbliżone do połowy napięcia zasilającego ($\pm 1V$). Jeśli jest inaczej trzeba odszukać przyczynę.

Posiadacze generatora i oscyloskopu podadzą sygnał na wejście mikrofonowe

i sprawdzą oscyloskopem przebiegi na wyjściach poszczególnych kostek.

Przy braku oscyloskopu trzeba wylutować rezystor R24 i podać na potencjometr PR1 sygnał z wyjścia kostki U1A. Tor sygnału składa się wtedy z przedwzmacniacza (U1A) i wzmacniacza mocy (U4B + tranzystory). Sygnał z mikrofonu musi być dobrze słyszalny w głośniku. Następnie należy na potencjometr PR1 podawać sygnał z kolejnych wyjść kostek (wzmacniaczy operacyjnych i generatora).

Przy prawidłowej pracy, poziomy sygnałów na wyjściach kolejnych wzmacniaczy operacyjnych są zbliżone (różnią się nie więcej niż dwukrotnie).

Wykorzystanie urządzenia

Dla wykorzystania możliwości układu, przetwarzane sygnały nie powinny być zbyt małe. W praktyce optymalną odległość od mikrofonu można określić na słuch, sprawdzając, kiedy pojawią się zniekształcenia. Odległość ta powinna wynosić od kilku do kilkunastu centymetrów.

Układ dostarczy wielu wrażeń przy próbie zaśpiewania jakiejś piosenki - przesuwanie częstotliwości psuje także harmonię - zachęcam do prób przy różnych przesunięciach częstotliwości. Ciekawym efektem będzie zwiększenie wzmocnienia (przez zwiększenie wartości R42 nawet do 1M Ω) i wykonanie swego rodzaju elektronicznej papugi, czy przedrzeźniacza. Co prawda układ nie wprowadza opóźnień, ale usłyszenie własnego oryginalnego i przesuniętego głosu daje naprawdę dziwne wrażenie.

Trochę trudniejsza jest sprawa wykorzystania transofonu do współpracy z aparatem telefonicznym. Tu trzeba ruszyć głową i być może wykonać jakieś pudełko wypełnione materiałem dźwiękochłonnym, umożliwiające sprzężenie akustyczne głośnika transofonu i mikrofonu, aby do mikrofonu nie docierał oryginalny głos rozmówcy.

Wykorzystanie interfejsu telefonicznego, opisanego w tym numerze EdW, byłoby rozwiązaniem ciekawym, ale sprzecznym z obowiązującymi przepisami.

Chętnie zaprezentujemy w EdW przykłady wykorzystania transofonu, praktycznie sprawdzone przez naszych Czytelników.

Czekamy również na wszelkie uwagi dotyczące opisanego urządzenia. W przypadku zainteresowania, przedstawimy także układ o dużo lepszych parametrach, wykonany przy użyciu przesuwników fazy i analogowych układów mnożących.

Piotr Górecki